

0-779702

На правах рукописи



Филимонов Сергей Владимирович

**МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ БЛЁКЛЫХ РУД – ИНДИКАТОРЫ РУДОГЕНЕЗА
(НА ПРИМЕРЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА)**

Специальность 25.00.05 – минералогия, кристаллография

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

Москва – 2009

Работа выполнена на кафедре минералогии геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,
профессор Спиридонов Эрнст Максимович

Официальные оппоненты: член-корреспондент РАН, доктор геолого-
минералогических наук, профессор
Ерёмин Николай Иосифович

кандидат геолого-минералогических наук
Борисова Елена Алексеевна

Ведущая организация: Геологический факультет Санкт-Петербургского
государственного университета (кафедра
минералогии)

Защита состоится 11 декабря 2009 года в 14 ч. 30 мин. на заседании
диссертационного совета Д 501.002.06 при Московском государственном
университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, ГСП-1, Москва,
Ленинские горы, МГУ имени М.В.Ломоносова, геологический факультет,
аудитория 829.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке геологического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова (зона А, 6 этаж).

Автореферат разослан 10 ноября 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор геолого-минералогических наук

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000621084

Киселева Киселева И.А.

ВВЕДЕНИЕ

Сложные халькогениды-сульфосоли – минералы группы блёклых руд $(\text{Cu}^{1+}, \text{Ag}, \text{Ti}, \text{Au})_{10}(\text{Zn}, \text{Fe}, \text{Cu}^{2+}, \text{Hg}, \text{Cd}, \text{Pb}, \text{Mn}, \text{Ni}, \text{Co}, \text{Sn})_2(\text{As}, \text{Sb}, \text{Bi}, \text{Te}, \text{Ge}, \text{In})_4(\text{S}, \text{Se})_{13}$ широко распространены в гидротермальных месторождениях различных генетических типов.

История изучения блёклых руд насчитывает более 250 лет. Исследования их структуры, состава и свойств выполнили G. Tschermak [1888], F. Machatshki [1928], L. Pauling [1934], Е.К. Лазаренко [1941-1978], Н.В. Белов [1952-1973], В.Ј. Wuensch [1964-1967], А.С. Поваренных [1965-1966], М.С. Сахарова [1966-1984], А.А. Годовиков [1972-1973], а также M. Charlat, C. Levy, B. Skinner, E. Makovicky, H.-J. Förster, R.A.D. Patrick, A.J. Hall, Н.Н. Мозгова, Э.М. Спиридонов, М.И. Новгородова, Н.И. Еремин, В.А. Коваленкер, Н.С. Бортников и многие другие ученые.

Блёклые руды неоднократно использовались как минералы-индикаторы условий рудообразования российскими [Радкевич, 1940; Лазаренко, 1956; Сахарова, 1966; Мозгова и Цепин, 1983; Спиридонов, 1984; Симаненко, 1999 и др.] и зарубежными [Wu & Petersen, 1972; Charlat & Levy, 1974; Hackbarth & Petersen, 1984; Lynch, 1989 и др.] исследователями. Б.В. Чесноков [1973] составил схему эндогенной зональности Берёзовского месторождения золота по составу блёклых руд.

Актуальность темы. Основной источник золота в России – плутоногенные гидротермальные месторождения. Они же являются и главными россыпеобразующими объектами. Большинство месторождений на поверхности уже открыты, разрабатываются или исчерпаны, а вновь открываемые являются "слепыми". Остро встала проблема критериев оценки типа и масштаба оруденения по ограниченным образцам, полученным из скважин.

Многие месторождения являются полиформационными. На ранние минеральные ассоциации нередко наложены более поздние образования. Например, на Берёзовском месторождении на Урале (старейшем и известнейшем золоторудном месторождении России) долгое время выделялся один тип гидротермальных метасоматитов – березиты-листвениты. На этой моноформационной основе была построена картина эндогенной зональности месторождения по составу блёклых руд. В настоящее время установлено [Бородаевский, Бородаевская, 1947; Грабежев, 1981; Сазонов и др., 1994; Филимонов и др., 1999 и др.], что на Берёзовском рудном поле развиты гидротермальные образования не менее пяти рудно-метасоматических формаций: кварц-турмалиновой, медно-порфировой калиевых пропилитов, натровых пропилитов, гумбеитовой, березит-лиственитовой. Каждой соответствует свой тип оруденения, многие из них содержат блёклые руды. Следовательно, построение зональности месторождения по составу отдельных минералов без учёта его полиформационности не корректно.

Благодаря широко проявленному изоморфизму, разнообразию типов эволюции состава и свойств, блёклые руды являются чуткими индикаторами условий рудообразования. Их состав и эволюция состава индивидуальны для

каждой рудной формации. Актуальным является выявление типоморфных признаков блёклых руд разных генетических типов и критериев различий рудных образований на формационной основе.

Цель и задачи работы. Основной целью настоящей работы являлось выявление типоморфных особенностей минералов группы блёклых руд в гидротермальных месторождениях золота различных генетических типов.

Для ее выполнения были поставлены следующие задачи:

- обзор литературы по составу, структуре, физическим свойствам минералов группы блёклых руд, составление базы данных по их химическому составу и её статистическая обработка;
- изучение минералов группы блёклых руд, сопутствующих жильных и рудных минералов гидротермальных месторождений золота и золотосодержащих: плутоногенных (Берёзовское, Шабровское, Средний Урал; Гумбейское, Южный Урал; Кварцитовые горки, Бестюбе, Степняк, Джеламбет, Аксу, Северный Казахстан); вулканогенно-плутоногенных (Дарасунское, Забайкалье); вулканогенных (Озерновское, Камчатка; Шаумян, Армения; Харвана, Иран) с учётом их геологической позиции, строения и формационной принадлежности;
- выявление типоморфных признаков блёклых руд месторождений различных гидротермальных рудно-метасоматических формаций, прежде всего золоторудных.

Научная новизна. В работе показано, что наличие минералов группы блёклых руд является положительным признаком золотого оруденения.

Установлено, что особенности зонального строения минералов группы блёклых руд могут служить критерием отличия плутоногенных, вулканогенно-плутоногенных и вулканогенных гидротермальных месторождений золота.

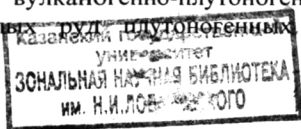
Впервые детально охарактеризованы блёклые руды гумбейтовой формации Урала и выявлено их отличие от блёклых руд березит-лиственитовой формации. С учётом этих данных пересмотрена и уточнена схема зональности Берёзовского Au месторождения по составу блёклых руд.

Показано, что для месторождений плутоногенной золото-кварцевой березит-лиственитовой формации состав и эволюция состава блёклых руд продуктивной минеральной ассоциации являются индикаторами глубинности формирования этих месторождений.

Работа соответствует направлению исследований Российской Академии Наук и кафедры минералогии МГУ по теме "Генетическая типизация гидротермального золотого оруденения".

Защищаемые положения.

1. Минералы группы блёклых руд – индикаторы рудогенеза, их наличие является положительным признаком для оценки эндогенного гидротермального золотого оруденения любых генетических типов.
2. Особенности зонального строения минералов группы блёклых руд – один из критериев отличия гидротермальных месторождений золота: плутоногенных, вулканогенно-плутоногенных, вулканогенных. Для кристаллов блёклых руд плутоногенных месторождений характерна



скрытая плавная зональность. Для кристаллов блёклых руд вулканогенных и вулканогенно-плутоногенных месторождений характерна резко выраженная зональность, часто осцилляционная. Зональность блёклых руд вулканогенно-плутоногенных месторождений обусловлена вариациями содержаний As–Sb и Zn–Fe. Зональность блёклых руд вулканогенных месторождений обусловлена широкими вариациями содержаний As–Sb–Te–Bi, S–Se, Cu^{1+} –Ag, Zn–Fe– Cu^{2+} –Hg–Cd.

3. Состав блёклых руд – один из критериев отличия сульфидно-кварцевых жил плутоногенных золото-содержащей гумбейтовой и промышленно золотоносной березит-лиственитовой формаций. Для их дискриминации предложена диаграмма в координатах Bi – Te.
4. Состав и эволюция состава блёклых руд продуктивной минеральной ассоциации месторождений плутоногенной золото-кварцевой березит-лиственитовой формации – индикаторы глубинности их формирования. Блёклые руды месторождений гипабиссальной фации содержат до 7 мас. % Hg и 40 мас. % Ag, мезоабиссальной фации – до 1 % Hg и 22 % Ag, абиссальной фации – до 0.2 % Hg и 1 % Ag.

Практическая значимость. Присутствие блёклых руд является положительным признаком золотого оруденения. Установлено, что характер их зональности может являться показателем промышленного типа месторождения. Предложены критерии отличия сходных по минеральному составу сульфидно-кварцевых жил плутоногенных золотосодержащей гумбейтовой и промышленно золотоносной березит-лиственитовой формаций. Установлены критерии глубинности формирования месторождений золото-кварцевой березит-лиственитовой формации по составу блёклых руд. Материалы диссертации используются в учебном процессе в курсе "Генетическая минералогия".

Фактический материал и методы исследования. Полевые наблюдения проведены автором на Берёзовском, Гумбейском, Шабровском, Шарташском и других месторождениях и рудопроявлениях Южного и Среднего Урала в 1996-2006 гг. Ряд маршрутов проведен совместно с геологами Берёзовского рудника А.Н. Трошкиной, В.Н. Сергачем. Отобраны и описаны более 300 образцов рудных и жильных минералов. Несколько десятков образцов из этих месторождений получены от Д.А. Клейменова (музей УГГУ г.Екатеринбург) и Е.П. Щербаковой (музей Ильменского государственного заповедника, г.Миасс). Коллекция из более 200 образцов Шарташского проявления предоставлена Р.С. Куруленко (ИГГ УрО РАН, г.Екатеринбург). Исследованы более 300 образцов руд из месторождений золота Северного Казахстана (Кварцитовые Горки I и IV, Бестюбе, Восточный Джеламбет, Северное и Южное Аксу и некоторые другие) и Камчатки (Озерновское), предоставленные Э.М. Спиридоновым. Несколько десятков образцов руд месторождения Шаумян (Армения) и рудопроявления Харвана (Иран) предоставил А.А. Матвеев (кафедра геохимии МГУ).

Рудные и жильные минералы, метасоматические породы охарактеризованы по результатам изучения сотен аншлифов, шлифов и полировок. Выполнено более 600 анализов блёклых руд, около 400 анализов

сопутствующих рудных и жильных минералов (лаборатория микрозондового анализа кафедры минералогии МГУ, электронный микрозонд Cameca SX-50 с волновыми спектрометрами). Анализы блёклых руд проводились по специально разработанной Н.Н. Кононковой программе, позволяющей анализировать 20 химических элементов (Cu, Ag, Fe, Zn, Hg, Pb, Mn, As, Sb, Bi, Te, S, Se, Ni, Co, Au, Tl, Sn, Ge, In) в одной точке, не меняя положения зонда. Получены около 50 фотографий в отраженном и проходящем свете, 90 фотографий кристаллов блёклых руд и агрегатов рудных минералов в отражённых электронах, 15 картин распределения в них химических элементов (лаборатория локальных методов исследования вещества кафедры петрологии МГУ, сканирующий электронный микроскоп CamScan с энерго-дисперсионным анализатором Link 10000, растровый электронный микроскоп Jeol JSM-6480LV). Рентгенограммы блёклых руд и иных минералов сняты на дифрактометре ДРОН-4.5 в рентгеновской лаборатории кафедры неорганической химии МГУ.

Составлена база данных более 4500 микрозондовых анализов блёклых руд из 500 месторождений мира.

Апробация работы и публикации. Материалы диссертации были представлены на научных конференциях: 33 Международный геологический конгресс (Осло, 2008); Ломоносовские чтения (Москва, МГУ 2007, 2009); Уральская летняя минералогическая школа (Екатеринбург, 1997, 1998, 1999, 2000, 2006); Магматизм, метаморфизм и глубинное строение Урала (Екатеринбург, 1997); научные чтения памяти проф. И.Ф.Трусовой (Москва, МГТА, 1998); Минералогия Урала (Миасс, 1998); Минералогические музеи (Санкт-Петербург, СПбГУ, 1998, 2000, 2002); IX съезде Минералогического общества РАН (Санкт-Петербург, 1999); Годичном собрании РМО (Санкт-Петербург, 2009); Металлогения древних и современных океанов (Миасс, 1999); Прикладная минералогия в решении проблем прогнозирования, поисков и оценки месторождений полезных ископаемых (Москва, ВИМС, 2001); посвященной 80-летию Болгарского Геологического общества (София, 2005); Новые идеи в науках о Земле (Москва, РГГРУ, 2005); Проблемы геологии рудных месторождений, минералогии, петрологии и геохимии (Москва, ИГЕМ, 2008); Золото северного обрамления Пацифика (Магадан, 2008). Результаты исследований опубликованы в 1 монографии, 10 статьях в реферируемых изданиях, 16 статьях в не реферируемых изданиях, 16 тезисах докладов конференций. Публикаций в журналах, рекомендованных ВАК – 7.

Структура и объём работы. Работа объёмом 183 машинописных листа состоит из введения, 6 глав, заключения, содержит 49 рис., 40 табл., библиографии 325 наименований.

Благодарности. Автор выражает глубокую искреннюю благодарность научному руководителю профессору Э.М. Спиридонову. Автор благодарен сотрудникам микрозондовых лабораторий Н.Н. Кононковой, И.А. Брызгалову, Н.Н. Коротаевой, Е.В. Гусевой, В.О. Япаскурту за высокое качество электронно-зондовых анализов и электронных фотографий; главному хранителю фондов музея Ильменского государственного заповедника Е.П. Щербаковой и заведующему минералогическим отделом музея Уральского государственного

горного университета Д.А. Клейменову, предоставившим ряд образцов руд. Особую благодарность автор выражает Н.Н. Кривицкой, Г.И. Бочаровой, И.А. Бакшееву за ценные замечания, обсуждение результатов работы, а также Г.Н. Давыдовой и всем сотрудникам кафедры за поддержку при написании работы. Исследования были проведены при финансовой поддержке РФФИ: исследовательские гранты 96-05-64269, 98-05-64762, 01-05-64051, 07-05-00057; экспедиционные гранты 97-05-79016, 98-05-79051, 99-05-79025, 00-05-79083, 05-05-79069.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Обзор минералов группы блёклых руд

Состав и структура. Общая формула блёклых руд – $\text{Me}^{1+}_{10}\text{Me}^{2+}_2\text{X}_4\text{Y}_{13}$, где Me^{1+} – Cu¹⁺, Ag, Tl, Au; Me^{2+} – Zn, Fe²⁺, Cu²⁺, $(\text{Cu}^{1+}+\text{Fe}^{3+})/2$, Hg, Cd, Pb, Mn, Ni, Co; X – As, Sb, Bi, Te, Ge, Sn, In; Y – S, Se [Tschermak, 1888; Machatschki, 1928; Pauling & Neumann, 1934; Радкевич, 1940; Лазаренко, 1956; Wuensch, 1964; Белов, 1965; Charlat & Levy, 1974; Hall et al., 1974; Johan et al., 1982; Sack & Loucks, 1985; Спиридонов, 1985, 1987; Johnson et al., 1988; Förster & Rhede, 2004 и другие].

Зонтичная структура сульфосолей – блёклых руд описана [Pauling & Neumann, 1934] как увосьмерённая элементарная ячейка сфалерита, содержащая 32 Zn-S тетраэдра, в которой 8 атомов Zn замещены Sb (As), а остальные 24 атома – Cu. Из 32 атомов S восемь удалены так, что каждый атом Sb (As) остается в окружении лишь трех атомов S, создавая подобие "зонтиков" $[\text{SbS}_3]^{3-}$. Два дополнительных атома S расположены по вершинам и в центре элементарного куба [Pauling & Neumann, 1934; Wuensch, 1964]. Теоретическими и экспериментальными работами [Pauling & Neumann, 1934; Wuensch, 1964; Белов, 1965; Makovicky, Skinner, 1976; Peterson, Miller, 1986 и др.] наличие тринадцатого атома в формуле и структуре блёклых руд доказано и в настоящее время не вызывает сомнений.

Позиции отдельных элементов в структуре согласно [Pauling & Neumann, 1934; Wuensch, 1964; Wuensch et al., 1966; Kalbskopf, 1971, 1974; Kawai et al., 1972; Johnson et al., 1988; Benedetto et al., 2002; Foit & Hughes, 2004; Makovicky et al., 2005; Andreasen et al., 2008 и др.] – $^{[III]}\text{A}_6^{[IV]}\text{B}_6^{[III]}\text{X}^{[IV]}\text{Y}_3^{[VI]}\text{Z}$, где A – Cu или Ag в треугольной координации, B – Cu, Ag, Fe, Zn, Hg в тетраэдрической координации, X – Sb, As, Bi или Te в тригональнопирамидальной «зонтичной» координации, Y и Z – S или Se в тетраэдрической или октаэдрической координациях, соответственно.

Компоненты блёклых руд варьируют в следующих пределах: S и Se до 13 формульных коэффициентов (ф.к.); Cu до 12 ф.к.; Ag до 10 ф.к.; As, Sb и Te до 4 ф.к.; Bi до 3 ф.к.; Zn, Fe, Hg, Cd, Mn, Pb до 2 ф.к.; Sn, Tl, Ge, In, Ni, Co, Au – 0,00n-0, n мас. %, изредка до 1-3 мас. % (In, Sn, Tl, Ge).

Формально одновалентная Cu почти полностью занимает позицию Me^{1+}_{10} . Формально двухвалентная Cu в некоторых блёклых рудах полностью занимает

позицию Me^{2+}_2 , которая обычно занята Fe^{2+} или Zn . В позиции Me^{2+}_2 нередко заметное количество $\text{Cu}^{1+} + \text{Fe}^{3+}$ [Куликова, Баринский, 2007].

Прецизионные анализы минералов группы блёклых руд и их синтетических аналогов в гидротермальных системах Cu-Sb-S при 200°C , Cu-Fe-Sb-S , Cu-Fe-As-S , $\text{Cu(Ag)-Cd(Fe,Zn)-Sb(As)-S}$ при $200-550^\circ\text{C}$, исследования их электронной структуры и электрических свойств свидетельствуют о том, что эти блёклые руды стехиометричны (в пределах точности микрозондового анализа) [Patrick & Hall, 1985; Johnson, Jeanloz, 1983; Jeanloz, Johnson, 1984; Спиридонов, 1987; Филимонов, Спиридонов, 2005 и др.].

Блёклые руды обладают полупроводниковыми свойствами. Наиболее устойчивы тетраэдриты с максимальным электрическим сопротивлением и с максимально возможным для структуры блёклых руд количеством электронов – 208 (на элементарную ячейку). Исследования [Johnson, Jeanloz, 1983; Jeanloz, Johnson, 1984] показали, что электрическое сопротивление природных и синтетических тетраэдритов с 208 валентными электронами в миллионы раз больше, чем у нестехиометричного синтетического тетраэдрита состава $\text{Cu}_{12.12}\text{Sb}_{4.09}\text{S}_{13}$ с ~ 205 валентными электронами. Зонная модель Бриллюэна согласуется с данными по составу природных и низкотемпературных синтетических блёклых руд – их состав стехиометричен, с двумя двухвалентными катионами в формуле.

Обобщение информации, составленной автором базы данных из более 4500 микрозондовых анализов блёклых руд, подтверждает их стехиометрию в пределах точности микрозондового анализа.

Зависимость состав-свойства. Широко проявленные изоморфные замещения отражаются на физических свойствах блёклых руд и в первую очередь на параметре элементарной ячейки и оптических спектрах отражения. Эти зависимости хорошо изучены для некоторых изоморфных серий [Чвилева и др., 1988 и др.]. Ряд вопросов остаются дискуссионными.

У серебросодержащих блёклых руд параметр элементарной ячейки линейно возрастает с ростом содержания Ag , для сурьмянистых блёклых руд почти до 11 \AA [Спиридонов и др., 1986; Жданов и др., 1992 и др.]. У Cu-Ag-Sb блёклых руд три типа спектров отражения в зависимости от концентрации серебра (рис. 1). Тетраэдрит с 10-25 мас. % Ag Г. Шнейдерхён [1958], П. Рамдор [1962], И.С. Волынский [1966] называли фрайбергитом, у него характерный практически прямолинейный спектр отражения, чем обусловлена его нейтральная окраска, в отличие от коричневатого в отражённом свете тетраэдрита. Использовать термин фрайбергит для крайне богатых серебром сурьмянистых блёклых руд, голубых в отражённом свете, с принципиально иным спектром отражения (рис. 1) не корректно; их рационально именовать аргентотетраэдритом.

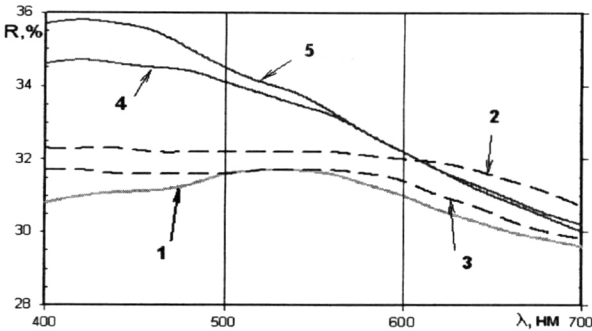


Рис. 1. Спектры отражения Cu-Ag-Sb блёклых руд.
1 – тетраэдрит с 0.2 мас. % Ag.
2 и 3 – тетраэдрит с 19.9 и 20.2 мас. % Ag (фрайбергит).
4 и 5 – аргентотетраэдрит с 33.5 и 40.3 мас. % Ag.

Классификация. Классификация блёклых руд по преобладающим компонентам с учётом приведенных выше данных (таб. 1): медисто-сернистые – теннантит, тетраэдрит, голдфилдит, аннивит; серебряно-сернистые – аргентотеннантит, аргентотетраэдрит; медисто-селенистые – жиродит (селентеннантит) и хакит (селентетраэдрит) [Спиридонов, 1985].

Главные характеристики состава блёклых руд – сурьмянистость $Sb/(Sb+As)$, % и медистость $Cu^{2+}/(Zn+Fe+Cu^{2+}+Hg+Cd)$, %.

Параметры формирования. Блёклые руды формируются из гидротермальных растворов при температуре более 100° и менее 400° С (обычно 180-300°) и давлении не более 4 кбар [Seal et al., 1990; Spiridonov et al., 2005 и др.].

Поведение при процессах метаморфизма – один из слабо изученных вопросов в минералогии блёклых руд.

При метаморфизме низких ступеней не устойчивы и претерпевают распад теллуристые, селенистые и ртутистые блёклые руды. По этой причине, голдфилдит редок в колчеданных месторождениях, которые, как правило, захвачены метаморфизмом пренит-пумпеллиитовой фации и более высокоградным. Среди продуктов деструкции богатых серебром блёклых руд – самородное серебро, дискразит, пираргирит и прустит. При процессах метаморфизма более устойчивы теннантит и особенно тетраэдрит. Теннантит распадается примерно при ~ 500° С, на его месте образуются скопления мельчайших кристаллов арсенопирита. Выше 550-600° С распадается и тетраэдрит, на его месте остаются халькопирит и сфалерит, Sb_2S_3 сублимируется, при этом может образоваться регенерированный антимонит [Spiridonov et al., 2005; Спиридонов и др., 2008 а].

Таблица 1. Классификация минералов группы блёклых руд
[Спиридонов, 1985-2005; с уточнениями автора]

Сернистые S>6.5 ф.к.		Селенистые Se>6.5 ф.к.	
медистые Cu ¹⁺ >5 ф.к.	серебристые Ag≥5 ф.к.	медистые Cu ¹⁺ >5 ф.к.	серебристые Ag≥5 ф.к.
As>Sb,Bi,Te			
теннантит	аргентотеннантит	жиродит	—
Sb>As,Bi,Te			
тетраэдрит	аргентотетраэдрит	хакит	—
Bi>As,Sb,Te			
аннивит	—	—	—
Te>Sb,As,Bi			
голдфилдит	—	—	—
Цинкистые (Zn > Fe, Cu ²⁺ , Hg, Cd, Pb, Mn) теннантит, тетраэдрит, аргентотеннантит, аргентотетраэдрит, голдфилдит, аннивит, жиродит			
Железистые (Fe > Zn, Cu ²⁺ , Hg, Cd, Pb, Mn) теннантит, тетраэдрит, аргентотеннантит, аргентотетраэдрит, голдфилдит			
Ртутистые (Hg > Fe, Zn, Cu ²⁺ , Cd, Pb, Mn) теннантит, тетраэдрит, аргентотетраэдрит, хакит, жиродит			
Медистые (Cu ²⁺ > Zn, Fe, Hg, Cd, Pb, Mn) теннантит, тетраэдрит, аргентотетраэдрит, голдфилдит, жиродит			
Кадмистые (Cd > Zn, Fe, Cu ²⁺ , Hg, Pb, Mn) тетраэдрит, аргентотетраэдрит			
Свинцовистые или марганцовистые (Pb или Mn > Zn, Fe, Cu ²⁺ , Hg, Cd) теннантит, тетраэдрит			

Обзор гидротермальных месторождений золота

По типу магматических образований, которые непосредственно предшествуют или сопровождают Au оруденение, выделены гидротермальные плутоногенные формации складчатых областей, вулканогенные формации складчатых областей и островных дуг, вулканогенно-плутоногенные формации [Шнейдерхён, 1941; Билибин, 1959; Татарин, Строна, 1967; Котляр, 1968; Ивенсен, Левин, 1975; Рамдор, 1982; Смирнов, 1982; Щепотьев и др., 1989; Спиридонов и др., 2002]. Большое значение в генезисе месторождений Au придается процессам регионального метаморфизма, прежде всего черносланцевых толщ, – выделена метаморфогенно-гидротермальная формация [Летников, Вилор, 1981; Буряк и др., 1997], иначе плутоногенно-метаморфогенная [Нарсеев и др., 1986]. Такие месторождения близки к плутоногенным, их целесообразно рассматривать совместно. Широко распространены плутоногенные золотосодержащие медно-порфировые месторождения [Бадалов, 1966; Tarkian et al., 1995; Trudu, Knittel, 1996; Rubin, Kyle, 1997] и амагматичные телетермальные золотосодержащие рудные формации

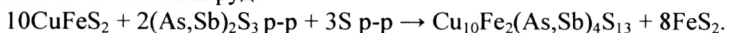
[Kvaček, 1973; Ершов, 1974; Индолев и др., 1980; Stanley et al., 1990; Cabri et al., 1991; Olivo et al., 1994].

Первое защищаемое положение

Минералы группы блёклых руд – индикаторы рудогенеза, их наличие является положительным признаком для оценки эндогенного гидротермального золотого оруденения любых генетических типов.

Это положение обосновано в работах [Spiridonov et al., 2005; Спиридонов и др., 2008 а и б; Спиридонов и др., 2009].

Блёклые руды гидротермальных месторождений возникают при глубоко прошедших процессах дифференциации рудоносных гидротерм с накоплением As, Sb, Bi, Te, Se. Стандартный путь формирования блёклых руд – замещение халькопирита. Зонтичная структура сульфоселей – блёклых руд сменяет сфалеритоподобную структуру халькопирита. При этом избыточное железо нередко сбрасывается в виде пирита (рис. 2). Возможная реакция образования обычных As-Sb блёклых руд:



В халькопирите железо формально трехвалентное, а в блёклых рудах – формально двухвалентное. Поэтому процесс замещения халькопирита блёклыми рудами происходит при росте восстановительного потенциала. Об этом же свидетельствует стандартный тренд изменения состава блёклых руд от высокомедистых к умеренномедистым и далее к низкомедистым [Спиридонов и др., 1997 а; Спиридонов, Филимонов, 1997; Спиридонов и др., 1998 б; Филимонов, 2000 в]. Снижение окислительного потенциала и соответственно увеличение восстановительного потенциала благоприятны для отложения Au.

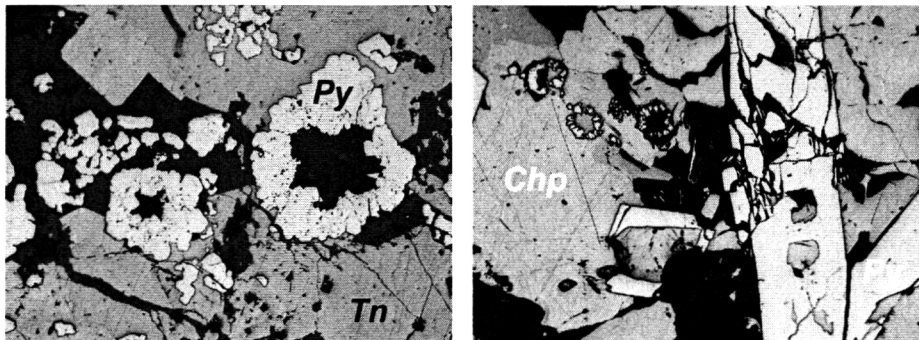


Рис. 2. Полная (слева) и частичные (справа) псевдоморфозы теннантита (Tn) и пирита (Py) по халькопириту (Chp). Дарасунское Au месторождение. Снимки в отражённом свете, ширина поля зрения 4 мм.

При высокой $f\text{O}_2$ возникают цинкистые блёклые руды вместо железистых, высокомедистые блёклые руды, а также селенистые блёклые руды – хакит и жиродит.

Второе защищаемое положение

Особенности зонального строения минералов группы блёклых руд – один из критериев отличия гидротермальных месторождений золота: плутогенных, вулканогенно-плутогенных, вулканогенных. Для кристаллов блёклых руд плутогенных месторождений характерна скрытая плавная зональность. Для кристаллов блёклых руд вулканогенных и вулканогенно-плутогенных месторождений характерна резко выраженная зональность, часто осцилляционная. Зональность блёклых руд вулканогенно-плутогенных месторождений обусловлена вариациями содержаний As-Sb и Zn-Fe. Зональность блёклых руд вулканогенных месторождений обусловлена широкими вариациями содержаний As-Sb-Te-Bi, S-Se, Cu¹⁺-Ag, Zn-Fe-Cu²⁺-Hg-Cd.

Это положение обосновано в работах [Филимонов и др., 2005; Spiridonov et al., 2005; Спиридонов и др., 2008] и иллюстрируется рисунками 3 – 6.

В плутогенных Au месторождениях кристаллы блёклых руд (ряда теннантит-тетраэдрит) не обладают резко выраженной зональностью, поскольку формируются в упорядоченных условиях при постепенном снижении Т. Изменения состава от центра к краям кристаллов плавные и нередко связаны с увеличением содержания Ag (рис. 3, левый). Местами в кристаллах блёклых руд проявлено блоковое строение (рис. 3, правый), обусловленное повышенным содержанием в одних участках Sb, в других – As.

Состав блёклых руд золоторудного вулканогенно-плутогенного месторождения Дарасун (Забайкалье) сходен с блёклыми рудами плутогенных месторождений. Однако кристаллы блёклых руд Дарасуна часто обладают резко выраженной зональностью, нередко осцилляционной (рис. 4), что обусловлено вариациями содержаний As-Sb и Fe-Zn. Сходного типа зональность проявлена в кристаллах арсенопирита, карбонатов, самородного золота и сурьмянистого висмута Дарасуна. Причина зональности – изменчивость условий рудоотложения в вулканогенно-плутогенных месторождениях.

Особенности блёклых руд вулканогенных месторождений золота рассмотрены на примере золото-колчеданного месторождения Шаумян (Армения) и убого сульфидного эпитермального месторождения Озерновское, Камчатка [Филимонов и др., 2005; Спиридонов и др., 2005 а, б; Матвеев и др., 2006; Спиридонов и др., 2008 б; Спиридонов и др., 2009 а и б]. Кристаллы блёклых руд вулканогенных месторождений как правило зональны и резко зональны (рис. 5 и 6). В золото-колчеданном месторождении Шаумян зональность блёклых руд обусловлена изоморфными замещениями Hg-Fe-Zn и As-Sb-Te, в убогосульфидном эпитермальном Au месторождении Озерновское – изоморфными замещениями Bi-Te-As-Sb и S-Se. Причина зональности – резкая изменчивость условий рудоотложения в вулканогенных месторождениях (колебания fO₂, fS₂, aTe, aSe, aBi; Т, Р...).

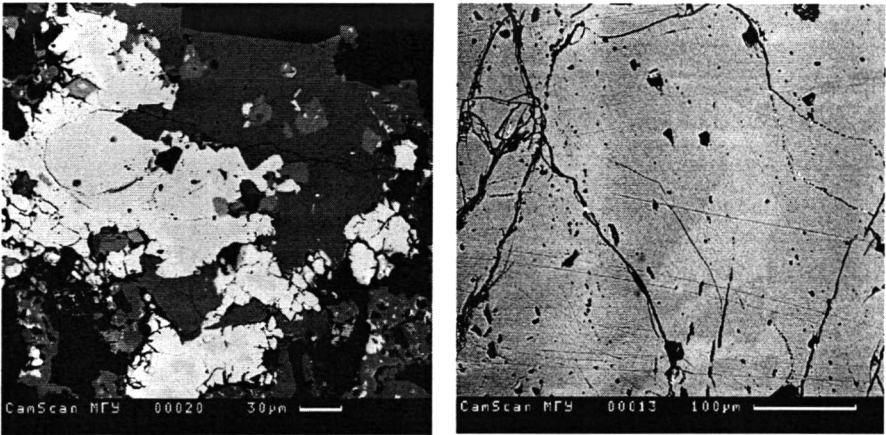


Рис. 3. Неоднородные кристаллы блёклых руд плутогенных месторождений Au. Слева кайма фрайбергита с 15 мас. % Ag (светло-серый) вокруг тетраэдрита с 5-7 мас. % Ag (серый), месторождение Бестюбе, Казахстан. Справа пятнистый кристалл Sb-теннантита, Берёзовское месторождение, Средний Урал. Снимки в отражённых электронах.

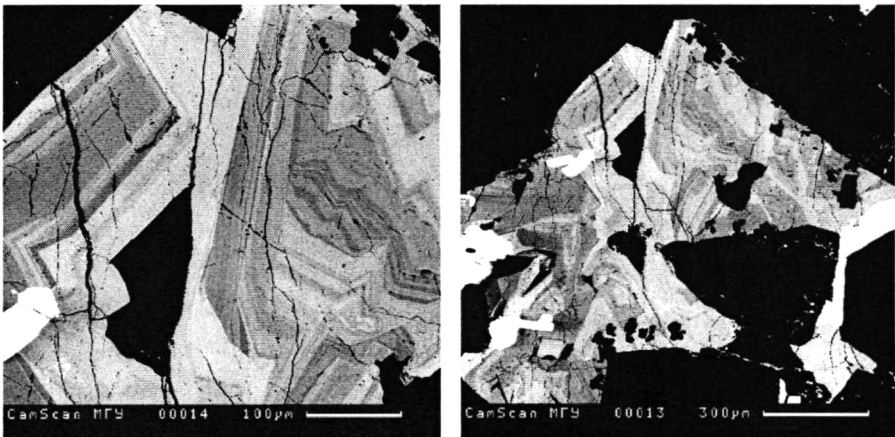


Рис. 4. Резко зональные кристаллы железисто-цинкистого теннантита-тетраэдрита вулканогенно-плутогенного месторождения золота Дарасун, Забайкалье. Чёрное – доломит и кварц. Снимки в отражённых электронах.

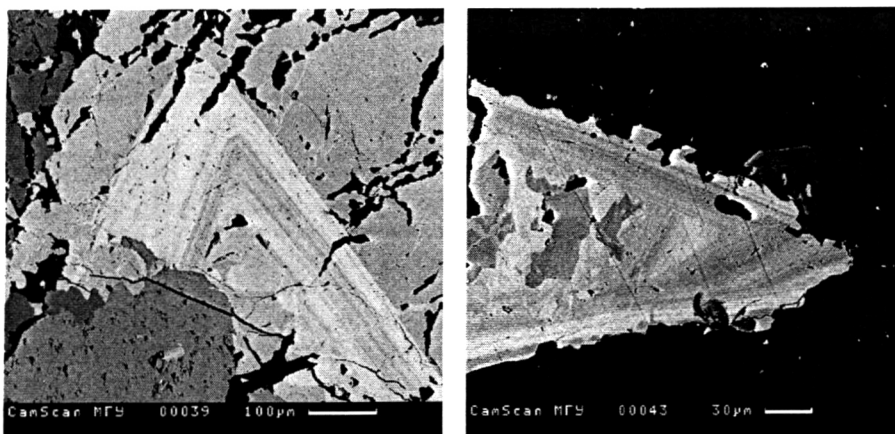


Рис. 5. Резко зональные кристаллы теллурсодержащего ртутистого теннантита-тетраэдрита золото-колчеданного месторождения Шаумян (Армения). Снимки в отражённых электронах.

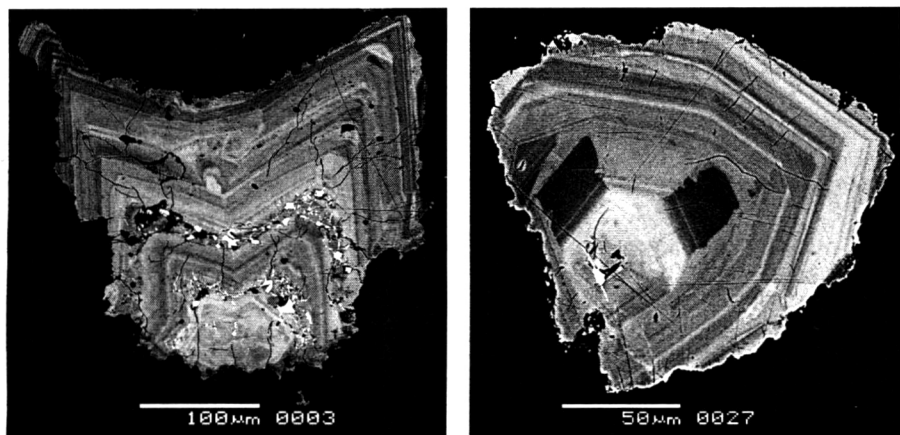


Рис. 6. Резко зональные кристаллы теллуристо-висмутисто-селенистых теннантита и тетраэдрита и селенистого голдфилдита вулканогенного убого сульфидного эпитеермального месторождения Озерновское, Камчатка. Ярко-белые кристаллы по зонам роста блёклых руд – включения твёрдого раствора фишессерит – науманнит. Чёрное – кварц. Снимки в отражённых электронах.

Обогащенные висмутом и селеном голдфилдит, Те-содержащий теннантит и тетраэдрит – индикаторы глубоко прошедшей дифференциации рудоносных растворов и, соответственно, масштабного промышленного золотого оруденения.

Третье защищаемое положение

Состав блёклых руд – один из критериев отличия сульфидно-кварцевых жил плутогенных золото-содержащей гумбеитовой и промышленно золотоносной березит-лиственитовой формаций. Для их дискриминации предложена диаграмма в координатах $Bi - Te$.

Блёклые руды – характерные минералы послегранитоидных метасоматитов и сопряжённых рудных жил в складчатых областях.

В складчатых областях развиты гранитоидные комплексы: низкофтористые с Au, Cu, Fe, W (шеелитовым) оруденением - инверсионные (соскладчатые) тоналит-гранодиоритовые (до адамеллитовых) и раннеорогенные монзонит-гранитные; фтористые и высокофтористые с редкометальным оруденением - орогенные и позднеорогенные лейкогранитные, аляскитовые, щелочногранитные. Гранитоиды тоналит-гранодиоритовых комплексов Ca-Na, монзонитовых - Ca-K-Na. Основное золотое оруденение Казахстана и Урала связано с инверсионными тоналит-гранодиоритовыми и адамеллитовыми комплексами, завершающими островодужный этап развития складчатой области. Комплексы обычно многофазные, их становление завершают серии мультиплетных даек глубинного происхождения родственных (гранитоид-порфиры, микродиориты) и петрологически чужеродных (спессартиты).

Установлено, что последовательность формирования послемагматических метасоматитов и рудных концентраций у тоналит-гранодиоритовых и монзонитовых комплексов однотипна: Mg скарны с гидроксилфлогопитовым и Fe (Cu) оруденением; Ca скарны с Fe (Co-Cu-W) оруденением; кварц-гидроксилмусковитовые; Mo-Cu-порфировые (калиевые пропилиты и кварц-серицитовые метасоматиты); натровые пропилиты; гумбеиты с шеелитовым оруденением; березиты и листвениты с золотым оруденением, аргиллизиты (рис. 7) [Спиридонов и др., 1997 а, г]. Каждый последующий тип метасоматитов и рудных образований порожден более низкотемпературными и менее солеными флюидами, обладает индивидуальными минеральными, геохимическими и изотопными характеристиками, т.е. является производным особого импульса гидротермальной деятельности.

О влиянии состава рудоносных магматических комплексов.

Для тоналит-гранодиоритовых комплексов чётко проявлена петрохимическая зональность: плутониты Na плагиогранитного типа размещены в синклинорных структурах; K-Na адамеллитового типа – в антиклинорных структурах. Этим обусловлена различная степень развития богатых калием гидротермальных метасоматитов. В связи с адамеллитовыми интрузивами (Шарташский) широко развиты метасоматиты гумбеитовой

формации и месторождения шеелита, золотые руды березит-лиственитовой формации обогащены свинцом и висмутом. В связи с низкокалийными плагиигранитными интрузивами (Бестюбе и другие в Северном Казахстане) практически не развиты гумбеиты, а золотые руды березит-лиственитовой формации бедны свинцом и висмутом [Спиридонов и др., 1997 г].

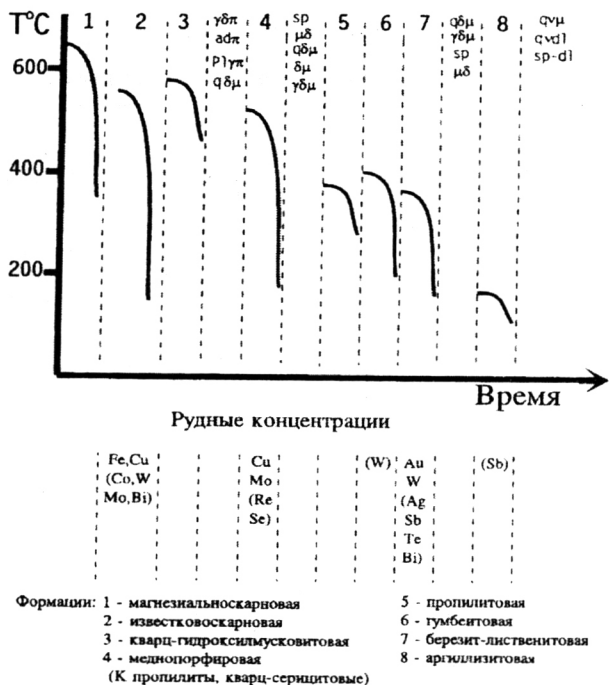


Рис. 7. Последовательность и температуры формирования послемагматических гидротермалитов и даек глубинного происхождения тоналит-гранодиоритовых комплексов Урала и Казахстана по [Спиридонов и др., 1997 а, г].

Со всеми типами метасоматитов связано образование блёклых руд. Их характеристика дана в [Филимонов и др., 2003; Spiridonov et al., 2005; Спиридонов и др., 2008 а, б].

Блёклые руды пропилитовой формации изучены на примере Шабровского талькового месторождения [Филимонов, 2002 а, б; Филимонов, 2003; Бакшеев и др., 2006]. Месторождение слагают апогипербазитовые тальк-магнетитовые метасоматиты пропилитовой формации. Эти породы возникли в условиях весьма низкой aS_2 и повышенной fO_2 , о чем свидетельствует присутствие гематита и никелистого талька [Спиридонов и др., 1999]. Блёклые руды характеризуются высоким содержанием Cu^{2+} и почти полным отсутствием Zn, которым бедны вмещающие гипербазиты.

Распространенными типами гидротермальных метасоматитов тоналит-гранодиоритовых и монцититовых комплексов являются березиты-листвениты, а также гумбеиты. Это околотрещинные плутогенные среднетемпературные углекислые метасоматиты, сходные по составу сопутствующих рудных кварцевых жил. Гумбеиты – несколько более высокотемпературные пирит-карбонат-калишпат-кварцевые метасоматиты, с ними связаны месторождения шеелита и проявления золота [Матвеев, 1928; Коржинский, 1955; Спиридонов и др., 1997 а, Спиридонов, Филимонов, 1997 и др.]. Березиты – пирит-карбонат-мусковит-кварцевые метасоматиты, с которыми связаны проявления шеелита и месторождения золота [Бородаевский, Бородаевская, 1948; Спиридонов, 1995 и др.].

Ранее считалось, что рудные концентрации классического Берёзовского золото-галенит-сульфовисмутидового месторождения Урала целиком принадлежат березит-лиственитовой формации [Кутюхин, 1947; Бородаевский и др., 1984 и др.]. На этой основе создана картина моноасцентной зональности месторождения по составу блёклых руд [Чесноков, 1973]. В настоящее время установлено, что на месторождении развиты не менее пяти самостоятельных рудно-метасоматических формаций: кварц-турмалиновая, калиевых пропилитов (медно-порфировая), натровых пропилитов, гумбеитов, березитов-лиственитов [Филимонов и др., 1999]. Получены новые данные по минералогии Берёзовского рудного поля, которые отражены в [Спиридонов и др., 1998 а; Филимонов, 1998 а; Филимонов, Прибавкин, 1998 а и б; Клейменов и др., 1999 а и б; Филимонов 1999 а, б; Филимонов и др., 1999; Филимонов, 2000 а и б; Клейменов и др., 2003]. Дополнены данные по минеральному составу Берёзовского золоторудного месторождения, установлены новые для месторождения минеральные виды олова – кёстерит и теллура – тетрадимит и гессит.

Метасоматиты гумбеитовой и березитовой формаций на Берёзовском месторождении нередко совмещены и входят в состав одних и тех же рудных тел. В связи с этим типоморфные особенности блёклых руд гумбеитовой и березитовой формации изучены на примере моноформационных объектов, на которых другие метасоматические формации практически не проявлены.

Минералы метасоматитов и сульфидно-кварцевых жил гумбеитовой формации изучены на примере голотира – кварц-шеелитового Гумбейского месторождения (Южный Урал) и Шарташского рудопроявления (Средний Урал) [Спиридонов и др., 1997 а, Спиридонов и др., 1998 а]. Выделен ряд фаций гумбеитов (рис. 8). Блёклые руды отсутствуют в калишпат-карбонат-кварцевых жилах, сопряженных с ранними наиболее высокотемпературными кальцит-биотитовыми и кальцит-доломит-биотитовыми фациями гумбеитов.

Блёклые руды (ряда теннантит-тетраздрит) широко распространены в калишпат-кварцевых жилах, сопряженных с доломитовыми и фенгитовыми фациями гумбеитов. Они ассоциируют с галенитом, сфалеритом, айкинитом и аксессуарным самородным золотом. В составе блёклых руд от ранних зарождений к поздним увеличивается сурьмянистость, несколько увеличивается содержание Ag – до 5 мас. %. Ранние блёклые руды высокомедистые, что

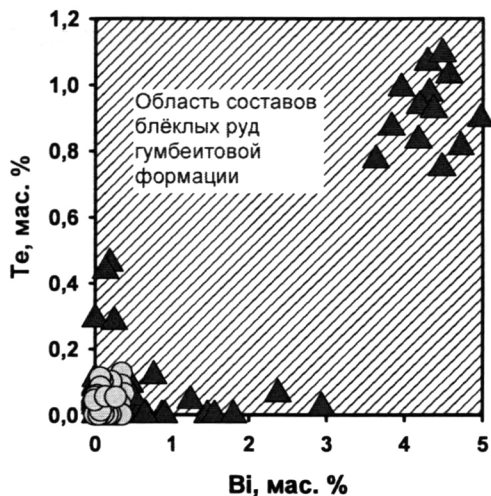


Рис. 9. Состав блёклых руд гумбейтовой и березит-лиственитовой формаций в координатах Bi–Te.

▲ - блёклые руды гумбейтовой формации (Гумбейское, Шарташское);

● - блёклые руды березитовой формации (Бестюбе, Кварцитовые Горки, Степняк, Аксу, Джеламбет).

Гумбейты и сопутствующие карбонат-кварцевые и кварцевые жилы по периферии Берёзовского месторождения (Кедровское и Шарташское месторождения шеелита) и в его пределах (в одних случаях это обособленные тела, в других – включения среди рудных тел березитовой формации) содержат шеелит, гематит, пирит, блёклые руды, галенит, сфалерит, бурнонит, Ag-Cu-Pb-Bi сульфосоли, тетрадимит, алтаит, айкинит, гессит, высокопробное 950-850 золото. Однако, содержания золота в этих жилах < 0.5 г/т. Блёклые руды по составу относятся к ряду теннантит-тетраэдрит, содержат до 3 мас. % Ag, до 3.6 мас. % Bi, до 1.2 мас. % Te, с повышенной медистостью – до 45 % [Филимонов, 1998 а; Филимонов, 1999 б; Филимонов и др., 1999; Филимонов, 2000 б].

Таким образом, схема зональности Берёзовского месторождения по составу блёклых руд [Чесноков, 1973], считающаяся классической и вошедшая во многие учебники и справочные пособия, не вполне корректна [Филимонов, Спиридонов, 2001]. Поскольку многие гидротермальные месторождения являются полиформационными, следует с осторожностью подходить к изучению зональности месторождений по составу отдельных минералов, необходимо учитывать формационную принадлежность этих минералов. Одним из критериев отличия рудных формаций может служить состав блёклых руд. Корректные анализы блёклых руд должны включать определение Bi и Te.

Четвертое защищаемое положение

Состав и эволюция состава блёклых руд продуктивной минеральной ассоциации месторождений плутогенной золото-кварцевой березит-лиственитовой формации – индикаторы глубинности их формирования.

Блѣклые руды месторождений гипабиссальной фации содержат до 7 мас. % Hg и 40 мас. % Ag, мезоабиссальной фации – до 1 % Hg и 22 % Ag, абиссальной фации – до 0.2 % Hg и 1 % Ag.

Зависимости состава блѣклых руд и глубинности формирования месторождений изучались на объектах каледонской провинции Северного Казахстана, где многие месторождения золота вскрыты шахтами и скважинами до глубин 0.7-1.5 км. По геологическим данным и результатам изучения флюидных включений в раннем кварце и шеелите установлено, что месторождения формировались в условиях гипабиссальной (1-3 км, Р при начальном минералообразовании 0.3-1 кб), мезоабиссальной (3-7 км, Р 1-1.8 кб) и абиссальной фаций глубинности (7-10 км, Р 2-3.6 кб) [Спиридонов, 1995].

Рудные тела месторождений золото-кварцевой формации сложены несколькими минеральными ассоциациями – реликтовыми, раннего кварца (\pm шеелит, кальцит, серицит, хлорит), ранних сульфидов (пирит, арсенопирит), карбонат-полисульфидной (анкерит, сфалерит, халькопирит, галенит), продуктивной (самородное золото и ассоциирующие минералы). Блѣклые руды входят в состав карбонат-полисульфидной и продуктивной ассоциаций. Результаты их изучения приведены в [Филимонов, Спиридонов, 2005; Spiridonov et al., 2005; Спиридонов и др., 2008 а].

Состав блѣклых руд допродуктивной карбонат-полисульфидной минеральной ассоциации всех месторождений простой – это цинкистый и железистый теннантит, реже тетраэдрит, умеренно медистые (от 0 до 20), с низкими содержаниями Ag, Hg.

Блѣклые руды продуктивной ассоциации крайне низко медистые в однотипных месторождениях различных фаций глубинности. Ниже дана их сравнительная характеристика.

1. Гипабиссальные месторождения (Кварцитовые Горки I и IV). Ранние зарождения блѣклых руд – цинкистые As-тетраэдрит и Sb-теннантит, содержащие до 5 мас. % Ag, иногда до 0.9 % Se, 0.4 % Cd, 0.2 % Tl и Sn. Для наименее глубинного месторождения Кварцитовые Горки IV характерны содержания до 7 мас. % Hg. В ходе рудообразования содержание ртути в блѣклых рудах снижалось, Hg перераспределялась в самородное ртутистое золото. Более поздние зарождения блѣклых руд – фрайбергит (Ag-содержащий тетраэдрит, до 25 мас. % Ag), наиболее поздние – аргентотетраэдрит и аргентотеннантит (до 40 мас. % Ag).

2. Мезоабиссальные месторождения (Бестюбе, Степняк). Ранние зарождения блѣклых руд – цинкистые и железистые тетраэдрит и теннантит, содержащие < 1 мас. % Hg и до 3 мас. % Ag. Поздние зарождения блѣклых руд – тетраэдрит (до 10 мас. % Ag), изредка фрайбергит (до 22 мас. % Ag, до 1 мас. % Cd и до 0.2 % Sn).

3. Абиссальные месторождения (Джеламбет, Северное и Южное Аксу). Блѣклые руды – железистые теннантит и тетраэдрит, бедные Ag (< 1 мас. %) и Hg (< 0.2 %), изредка содержат до 0.6 мас. % Cd.

Берёзовское Au месторождение по содержанию в блёклых рудах Ag (до 3.5 мас. %) и Hg (до 1 мас. %) относится к гип-мезоабиссальным, что коррелируется с данными о его геологической позиции.

Итак, блёклые руды продуктивной ассоциации в разноглубинных месторождениях золото-кварцевой березит-лиственитовой формации различаются по составу, в первую очередь по содержанию Ag и Hg. Для блёклых руд гипабиссальных месторождений характерны примеси Se и Tl.

О влиянии состава рудовмещающей среды на состав блёклых руд.

Один из источников As и в меньшей степени Sb – рудовмещающие черносланцевые толщи. Именно они в значительной степени определяют содержание минералов группы блёклых руд в рудах.

Многие Au месторождения Урала размещены среди базит-гипербазитовых массивов. При процессах регионального низкоградного метаморфизма практически весь цинк горных пород этих массивов был связан в метаморфогенных цинкистых хромшпинелидах [Спиридонов и др., 1996; Спиридонов и др., 1998 в; Барсукова и др., 1999]. Это возможная причина отсутствия сфалерита в рудах Берёзовского месторождения золота и вероятная причина обогащения блёклых руд этого месторождения кадмием, поскольку Cd при процессах метаморфизма не может входить в решетку хромшпинелидов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований показано, что наличие в рудных телах минералов группы блёклых руд является положительным признаком золотого оруденения. Особенности зонального строения минералов группы блёклых руд могут служить критерием отличия плутоногенных, вулканогенно-плутоногенных и вулканогенных гидротермальных месторождений золота. Детально охарактеризованы блёклые руды гумбеитовой формации. Предложены критерии отличия сходных по минеральному составу сульфидно-кварцевых жил плутоногенных золотосодержащей гумбеитовой и промышленно золотоносной березит-лиственитовой формаций. С учётом этих данных пересмотрена и уточнена схема зональности Берёзовского Au месторождения по составу блёклых руд. Для месторождений плутоногенной золото-кварцевой березит-лиственитовой формации состав и эволюция состава блёклых руд продуктивной минеральной ассоциации являются индикаторами глубинности формирования этих месторождений.

Публикации по теме диссертации:

Монография

1. Спиридонов Э.М., Бакшеев И.А., Куруленко Р.С., Прокофьев В.Ю., Устинов В.И., Прибавкин С.В., Филимонов С.В. Гумбеитовая формация Урала. М.: МГУ. 1997 а. 97 с.

Статьи в реферируемых изданиях

2. Спиридонов Э.М., Филимонов С.В. Типохимизм блёклых руд гумбеитовой формации Урала // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 1997. № 6. С. 38-45.

3. Спиридонов Э.М., Бакшеев И.А., Прокофьев В.Ю., Устинов В.И., Филимонов С.В. Гумбейты Урала и сопряженная рудная минерализация, параметры их образования // Геология рудных месторождений. 1998 а. Т. 40. № 2. С. 171-190.

4. Филимонов С.В. Железистый гаспеит из выветрелых лиственитов Берёзовского золоторудного месторождения // Записки ВМО. 2000 а. Ч. 127. Вып. 2. С. 57-58.

5. Филимонов С.В. Блёклые руды тальк-карбонатных метасоматитов пропилитовой формации Шабровского месторождения (Средний Урал) // Уральский геологический журнал. 2002 а. № 4 (28). С. 145-149.

6. Спиридонов Э.М., Куликова И.М., Филимонов С.В., Григорян С.В., Матвеев А.А., Табатабаей Х.С. Свинцовистый колорадоит и минералы золота вулканогенных месторождений Южной Армении и северо-западного Ирана // Доклады РАН. 2003. Т. 393. № 2. С. 252-255.

7. Клейменов Д.А., Филимонов С.В., Ерохин Ю.В. Новые данные о составе сульфидов и арсенидов никеля Берёзовского золоторудного месторождения // Известия УГГА. Геология и геофизика. Вып. 18. 2003. С. 63-67.

8. Филимонов С.В., Спиридонов Э.М., Матвеев А.А., Григорян С.В., Табатабаей Х.С. Особенности блёклых руд золото-колчеданно-полиметаллических месторождений Шаумян (южная Армения) и Харвана (северо-западный Иран) // Записки ВМО. 2005. № 3. С. 85-94.

9. Филимонов С.В., Спиридонов Э.М. Блёклые руды плутогенного гипабиссального золото-антимонитового месторождения Кварцитовые Горки (север Центрального Казахстана) // Тр. Минералог. музея РАН им. А.Е. Ферсмана. 2005. Вып. 40. С. 96-104.

10. Матвеев А.А., Спиридонов Э.М., Григорян С.В., Табатабаей Х.С., Филимонов С.В. Минералого-геохимическая характеристика и прогнозная оценка золото-полиметаллического оруденения южной Армении северо-западного Ирана // Геохимия. 2006. № 8. С. 879-890.

11. Спиридонов Э.М., Филимонов С.В., Брызгалов И.А. Твёрдый раствор фишессерит - науманнит $(\text{Ag,Au})_2\text{Se}$ в рудах вулканогенного месторождения золота Озерновское, Камчатка // Доклады РАН. 2009 а. Т. 425. № 3. С. 1-4.

Статьи в не реферируемых изданиях

12. Спиридонов Э.М., Шлыкова Ю.В., Филимонов С.В. Хромшпинелиды дозолоторудных даек спессартитов гранодиоритовых комплексов Казахстана и Урала // Уральская летняя минералогическая школа-97. Екатеринбург: УГГГА. 1997 б. С. 60-64.

13. Филимонов С.В. Первая находка алтаита в Берёзовском золоторудном поле, Средний Урал // Уральская летняя минералогическая школа-98. Екатеринбург: УГГГА. 1998 а. С. 139.

14. Филимонов С.В., Кононкова Н.Н., Спиридонов Э.М. Макро- и микроэлементный состав блёклых руд кварц-шеелитовых месторождений гумбейтовой формации Урала // Уральская летняя минералогическая школа-98. Екатеринбург: УГГГА. 1998. С. 163-165.

15. Филимонов С.В., Прибавкин С.В. Типохимизм бурнонита гумбеитовой и березит-лиственитовой формаций // Уральская летняя минералогическая школа-98. Екатеринбург: УГГГА. 1998. С. 160-163.

16. Спиридонов Э.М., Филимонов С.В., Кононкова Н.Н. Типохимизм блёклых руд гумбеитовой формации Урала // Минералогия Урала. Т. 2. Миасс: ИМин УрО РАН. 1998 б. С. 124-127.

17. Спиридонов Э.М., Барсукова Н.С., Бакшеев И.А., Филимонов С.В., Савина Д.Н. Цинкистые хромшпинелиды // Минералогия Урала. Т. 2. Миасс: ИМин УрО РАН. 1998 в. С. 127-129.

18. Филимонов С.В., Прибавкин С.В. Бурнонит гумбеитовой формации Урала // Минералогия Урала. Т. 2. Миасс: ИМин УрО РАН. 1998. С. 145-147.

19. Клейменов Д.А., Филимонов С.В., Пономарев В.С. Зональное распределение продуктов окисления блёклых руд на территории Берёзовского золоторудного месторождения // Металлогения древних и современных океанов. Миасс: ИМин УрО РАН. 1999 а. С. 209-212.

20. Филимонов С.В. Первая находка кёстерита $\text{Cu}_2(\text{Zn,Fe})\text{SnS}_4$ и других In-содержащих минералов в Берёзовском золоторудном месторождении // Уральская летняя минералогическая школа-99. Екатеринбург: УГГГА. 1999 а. С. 291-292.

21. Филимонов С.В. Висмутовая и теллуровая минерализация гумбеитовой формации на северном фланге Берёзовского золоторудного месторождения (Витеннантит, Ag-Bi-галенит, айкинит; тетрадимит, Pb-тетрадимит, гессит) // Уральская летняя минералогическая школа-99. Екатеринбург: УГГГА. 1999 б. С. 292-294.

22. Филимонов С.В. W-рутил из гумбеитов Берёзовского золоторудного поля (Средний Урал) // Уральская летняя минералогическая школа-2000. Екатеринбург: УГГГА. 2000 б. С. 376-378.

23. Филимонов С.В. Типохимизм блёклых руд послемагматических рудно-метасоматических образований раннекарбонового гранодиоритового комплекса Среднего Урала // Минералогия Урала-2003. Т. 1. Миасс: ИМин УрО РАН. 2003. С. 145-151.

24. Spiridonov E., Maleev M., Kovachev V., Kulikova I., Nazmova G., Filimonov S. Minerals of Fahlore group: Indicators of Ore Genesis // Bulgarian Geological Society, 80-th Anniversary. Proceedings of the Jubilee International Conference. Bulgarian Geological Society. Sofia: 2005. P. 79-82.

25. Бакшеев И.А., Сазонов В.Н., Устинов В.И., Ерохин Ю.В., Филимонов С.В., Прокофьев В.Ю., Raimbault L. Генезис Шабровского месторождения талькового камня (Средний Урал) по минералогическим данным и данным изучения флюидных включений и стабильных изотопов // Уральская летняя минералогическая школа-2006. Екатеринбург: УГГГУ. 2006. С. 14-32.

26. Спиридонов Э.М., Филимонов С.В., Куликова И.М., Назьмова Г.Н., Кривицкая Н.Н., Брызгалов И.А., Гусева Е.В., Коротаева Н.Н. Минералы группы блёклых руд – индикаторы рудогенеза // Проблемы геологии рудных месторождений, минералогии, петрологии и геохимии. М.: ИГЕМ РАН. 2008 а. С. 356-359.

27. Спиридонов Э.М., Брызгалов И.А., Кривицкая Н.Н., Назьмова Г.Н., Ряховская С.К., Филимонов С.В. Особенности минеральных ассоциаций гидротермальных, плутоногенных, вулканогенно-плутоногенных, вулканогенных и телетермальных месторождений золота // Золото северного обрамления Пацифика. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. 2008 б. С.155-158.

Тезисы докладов

28. Спиридонов Э.М., Бакшеев И.А., Филимонов С.В. Хромшпинелиды и генезис дозолоторудных спессартитов Берёзовского рудного поля, Средний Урал // Магматизм, метаморфизм и глубинное строение Урала. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН. 1997 в. Ч. 2. С. 228-229.

29. Спиридонов Э.М., Назьмова Г.Н., Соколова Н.Ф., Шалаев Ю.С., Кореньков Е.А., Ершова Н.А., Куруленко Р.С., Бакшеев И.А., Шлыкова Ю.В., Плетнев П.А., Юдин А.В., Филимонов С.В. Состав и эволюция инверсионных гранодиоритовых и раннеорогенных монцонитовых комплексов Казахстана и Урала и сопряженных метасоматитов и оруденения // Магматизм, метаморфизм и глубинное строение Урала. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН. 1997 г. Ч. 2. С. 208-211.

30. Филимонов С.В. Хромшпинелиды дозолоторудных даек спессартитов Берёзовского рудного поля, Средний Урал // Проблемы магматической и метаморфической петрологии. М.: МГГА. 1998 б. С. 43.

31. Бакшеев И.А., Филимонов С.В., Савина Д.Н. Высокоцинкистые метаморфогенные хромшпинелиды (цинкохромит, Zn алюмохромит, Zn феррихромит) из листвинитов Берёзовского Au месторождения, Средний Урал // Минералогические музеи. СПб.: СПбГУ. 1998. С. 12-13.

32. Спиридонов Э.М., Жернаков В.И., Бакшеев И.А., Савина Д.Н., Филимонов С.В. Типоморфизм талька апогипербазитовых метасоматитов Урала // Минералогическое общество и минералогическая наука на пороге XXI века. СПб.: СПбГУ. 1999. С. 120-122.

33. Филимонов С.В., Спиридонов Э.М., Бакшеев И.А., Куруленко Р.С., Кудрявцева О.Е. Типоморфизм минералов и минеральных ассоциаций полихронных рудно-метасоматических образований Берёзовского золоторудного поля (Средний Урал) // Минералогическое общество и минералогическая наука на пороге XXI века. СПб.: СПбГУ. 1999. С. 127-129.

34. Барсукова Н.С., Спиридонов Э.М., Филимонов С.В., Бакшеев И.А., Плетнев П.А. Превращения хромшпинелидов базит-гипербазитовых массивов Среднего и Южного Урала при постмагматических процессах // Минералогическое общество и минералогическая наука на пороге XXI века. СПб.: СПбГУ. 1999. С. 207-208.

35. Клейменов Д.А., Филимонов С.В., Пономарев В.С., Малофеева Л.П. Преобразование блёклых руд в условиях гипергенеза (на примере зоны окисления Берёзовского золоторудного месторождения) // Минералогическое общество и минералогическая наука на пороге XXI века. СПб.: СПбГУ. 1999 б. С. 231-232.

36. Филимонов С.В. Типохимизм блёклых руд гумбеитовой и березит-лиственитовой формаций // Минералогические музеи в XXI веке. СПб.: СПбГУ. 2000 в. С. 120-121.

37. Филимонов С.В., Спиридонов Э.М. Ещё раз о зональности Берёзовского золоторудного месторождения (Средний Урал) по составу блёклых руд // Прикладная минералогия в решении проблем прогнозирования, поисков и оценки месторождений полезных ископаемых. М.: ВИМС. 2001. С. 56.

38. Филимонов С.В. Блёклые руды тальк-карбонатных метасоматитов пропилитовой формации Шабровского месторождения (Средний Урал) // Минералогические музеи. СПб.: НИИЗК СПбГУ. 2002 б. С. 139-140.

39. Спиридонов Э.М., Филимонов С.В., Матвеев А.А., Григорян С.В., Табатабаей Х.С. Золото-теллуридная минерализация золото-полиметаллического оруденения Южной Армении и северо-западного Ирана // Новые идеи в науках о Земле Т. 1. М.: Книжный дом университет. 2005 а. С. 297.

40. Спиридонов Э.М., Филимонов С.В., Матвеев А.А., Григорян С.В., Табатабаей Х.С. Обратная зональность самородного золота золото-полиметаллического проявления Харвана (северо-западный Иран) // Новые идеи в науках о Земле. Т. 1. М.: Книжный дом университет. 2005 б. С. 298.

41. Filimonov S.V. Fahlores composition as a criterion of difference between gumbeite and beresite-listvenite associations of Berezovsk gold deposit, Urals // 33rd International Geological congress. Oslo: 2008 (in CD-ROM).

42. Spiridonov E.M., Filimonov S.V. Fahlerz as facies of depth formation indicators at plutonogenic hydrothermal gold-quartz deposits // 33rd International Geological congress. Oslo: 2008 (in CD-ROM).

43. Спиридонов Э.М., Филимонов С.В., Брызгалов И.А., Гусева Е.В., Коротаяева Н.Н., Кривицкая Н.Н., Япаскерт В.О. Особенности зонального строения минералов группы блёклых руд – один из критериев отличия гидротермальных месторождений золота: плутоногенных, вулканогенно-плутоногенных и вулканогенных. В кн.: Онтогенез минералов и ее значение для решения геологических прикладных и научных задач // СПб.: РМО. 2009 б. С. 135-136.

Подписано в печать 05.11.09
Формат 60х88 1/16. Объем 1 п.л.
Тираж 100 экз. Заказ № 875
Отпечатано в ООО «Соцветие красок»
119991 г.Москва, Ленинские горы, д.1
Главное здание МГУ, к. А-102

